

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUANXIAO

TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

建筑结构抗震设计

桂国庆 □ 主 编

熊进刚 张 敏 □ 副主编

李忠献 □ 主 审



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

应

工程专业系列教材



JINGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

TUMU GONGCHENG

建筑结构抗震设计

主 编 ■ 桂 国 庆

副主编 ■ 熊进刚 张 敏

参 编 ■ 王展光 袁志军 王玉娥

贾燕翔 谢 冰

常州大学图书馆
藏书章

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)进行编写,系统地阐述了建筑抗震设计的基本知识、基本理论和基本方法,并给出了各类建筑结构抗震设计的实例。全书内容包括地震和抗震设计的基本知识,场地、地基和基础,结构地震反应分析基本理论和结构抗震设计基本方法,建筑抗震概念设计,以及多层和高层钢筋混凝土房屋、多层砌体房屋、多层和高层钢结构房屋、单层工业厂房、土、木、石结构房屋、隔震和消能减震房屋等各类建筑的抗震设计方法。

本书可作为高等学校本科土木工程专业的教学用书、继续教育的自学用书,也可供从事工程设计、施工、监理的技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/桂国庆主编. —重庆:重庆大学出版社,2012.8

应用型本科院校土木工程专业系列教材
ISBN 978-7-5624-6932-2

I. ①建… II. ①桂… III. ①建筑结构—防震设计—高等学校—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第189112号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

建筑结构抗震设计

主 编 桂国庆

副主编 熊进刚 张 敏

主 审 李忠献

责任编辑:王 婷 蒋曜州 版式设计:林青山

责任校对:杨长英 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆五环印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:21.25 字数:530千

2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-6932-2 定价:37.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

本书是应用型本科院校土木工程专业系列教材之一。书中较系统地介绍了建筑抗震设计的基本知识、基本理论、基本方法及在工程实际中的应用,主要包括:地震和抗震设计的基本知识,场地、地基和基础,结构地震反应分析基本理论和结构抗震设计基本方法,建筑抗震概念设计,以及多层和高层钢筋混凝土房屋、多层砌体房屋、多层和高层钢结构房屋、单层工业厂房、土、木、石结构房屋、隔震和消能减震房屋等建筑结构抗震设计的方法和实例,地下建筑抗震设计的基本方法等。

本书的目的是使学生通过本课程的学习,能够理解建筑抗震的概念设计,掌握抗震设计的基本理论和基本方法,掌握上述各类房屋结构的抗震设计方法,具备运用规范对一般房屋结构进行抗震设计的能力。

本书力求体现应用型本科土木工程专业的培养目标;体现重视基础,培养能力,提高素质,加强应用的新教改精神;力求精炼理论,突出实用性,强调项目或案例教学;以具体应用现行技术规范和标准为主线,按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)、《中国地震动参数区划图》(GB/T 18306—2001)、《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)和《镇(乡)村建筑抗震技术规程》(JGJ 161—2008)等编写,其内容在符合高等院校应用型本科土木工程专业教学要求的前提下,保证其先进性,反映了本课程的新现状、新动向、新趋势、新标准。

本书由井冈山大学桂国庆教授担任主编,南昌大学熊进刚教授、广西工学院张敏教授担任副主编,天津大学李忠献教授主审。

参加本书编写人员如下:第1章由桂国庆(井冈山大学)编写;第2章由王玉娥(井冈山大学)编写;第3章由张敏(广西工学院)编写;第4、6章由熊进刚(南昌大学)编写;第5、7章由袁志军(南昌大学)编写;第8章由贾燕翔(井冈山大学)编写;第9、11章由王展光(井冈山大学)

学)编写;第10章由谢冰(洛阳理工学院)编写。最后由桂国庆教授负责全书的统稿和定稿工作。

限于编者水平和能力,书中难免有不妥和疏忽之处,恳请读者批评指正。

编者
2012年3月

目 录

1	地震与抗震设计的基本知识	1
1.1	地震与地震动	1
1.2	地震震级与地震烈度	6
1.3	地震活动性及地震灾害	11
1.4	建筑抗震设计的基本要求	16
	本章小结	19
	思考题与习题	20
2	场地、地基和基础	21
2.1	场地	21
2.2	天然地基与基础的抗震验算	24
2.3	液化土与软土地基	28
	本章小结	36
	思考题与习题	37
3	结构地震反应和结构抗震验算	40
3.1	概述	40
3.2	单自由度弹性体系的水平地震反应	41
3.3	单自由度弹性体系的水平地震作用及其反应谱	44
3.4	多自由度弹性体系的水平地震反应	49



3.5	多自由度弹性体系的水平地震作用及效应	52
3.6	结构基本周期的近似计算	58
3.7	结构平扭耦联地震反应与双向水平地震影响	60
3.8	竖向地震作用的计算	62
3.9	结构抗震验算	64
	本章小结	70
	思考题与习题	71
4	建筑抗震概念设计	72
4.1	选择建筑场地	72
4.2	把握建筑形体和结构的规则性	75
4.3	选择合理的抗震结构体系	79
4.4	利用结构延性	83
4.5	重视非结构构件的抗震	84
	本章小结	87
	思考题与习题	87
5	多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计	88
5.1	多层和高层钢筋混凝土房屋的震害及其分析	89
5.2	多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定	91
5.3	框架结构的抗震设计	96
5.4	抗震墙结构的抗震设计	118
5.5	框架-抗震墙结构的抗震设计	125
5.6	框架结构抗震设计实例	129
	本章小结	134
	思考题与习题	135
6	砌体房屋抗震设计	137
6.1	砌体房屋的震害及其分析	138
6.2	砌体房屋抗震设计的一般规定	141
6.3	多层砌体房屋的抗震验算	145
6.4	底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震验算	152
6.5	砌体房屋的抗震构造要求	155
6.6	砌体房屋抗震设计实例	163
	本章小结	170
	思考题与习题	170

7	多层和高层钢结构房屋抗震设计	172
7.1	多层和高层钢结构房屋抗震特性及震害分析	173
7.2	抗震设计的一般规定	175
7.3	多层和高层钢结构房屋抗震计算	180
7.4	多层和高层钢结构房屋抗震构造措施	187
7.5	多层钢结构房屋抗震设计实例	193
	本章小结	198
	思考题与习题	199
8	单层厂房抗震设计	200
8.1	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	200
8.2	单层钢结构厂房抗震设计	225
8.3	单层砖柱厂房抗震设计	232
8.4	单层厂房抗震设计实例	238
	本章小结	250
	思考题与习题	251
9	土、木、石结构房屋抗震设计	252
9.1	概述	253
9.2	土、木、石结构房屋抗震基本要求	257
9.3	生土房屋抗震设计	261
9.4	木结构房屋抗震设计	265
9.5	石结构房屋抗震设计	269
	本章小结	271
	思考题和习题	272
10	房屋隔震和消能减震设计	273
10.1	概述	273
10.2	房屋隔震设计	275
10.3	房屋消能减震设计	285
10.4	隔震设计算例	292
	本章小结	296
	思考题与习题	297
11	地下建筑抗震设计	298
11.1	概述	298
11.2	地下建筑的震害特点	299



11.3 地下建筑抗震设计的一般规定	301
11.4 地下建筑的抗震计算	302
11.5 地下建筑的抗震措施	306
本章小结	307
思考题与习题	308
附录 A 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组	309
附录 B D 值法计算用表	323
参考文献	330



1

地震与抗震设计的基本知识

[本章导读]

● **教学基本要求:**了解地震的基本知识;掌握地震波、地震震级和地震烈度的概念;了解地震活动性和地震破坏作用;熟悉我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)中关于建筑抗震设防目标、抗震设防分类、抗震设防标准以及抗震设计方法等抗震的基本知识。

● **重点:**地震烈度、基本烈度和设防烈度的区别与联系;建筑抗震设防目标、抗震设防分类、抗震设防标准以及抗震设计方法等抗震的基本知识。

1.1 地震与地震动

地震是一种突发式自然灾害。它是地球内某处薄弱岩层突然破裂,或因局部岩层塌陷、火山爆发等发生了振动,并以波的形式传达至地表引起地面的颠簸和摇晃,从而引起的地面运动。地震时强烈的地面运动会造成工程建筑物破坏、交通中断,并可能引发火灾、水灾、山崩、滑坡及海啸等一系列灾害,危及人民生命财产安全并严重影响国民经济。

► 1.1.1 地震成因与地震类型

地震按其成因主要划分为4种类型:构造地震、火山地震、塌陷地震和诱发地震。

① **构造地震:**构造地震是由于地壳运动导致岩层局部应力集中,最终在其薄弱部位发生断裂、错动,释放出大量能量而引起的地面振动。

构造地震分布广、发生次数多(约占地震发生总数的90%)、影响范围广,是地震工程的主要研究对象。在抗震设计中,仅讨论在构造地震作用下的建筑抗震设防问题。

②火山地震:由于火山爆发,岩浆猛烈冲出地面引起的地面振动。火山地震的影响一般比较小,不会造成较大的灾害。

③塌陷地震:由于地表或地下岩层的突然塌陷所引起的地面振动(如石灰岩地区的溶洞陷落或古旧矿井的塌陷等)。塌陷地震的影响也很小,很少造成破坏。

④诱发地震:由于人工爆破、矿山开采、水库蓄水、深井注水所引起的地面振动。这种地震发生的几率很少,影响也较小。

关于构造地震的成因有多种学说,这里主要介绍两种:断层学说和板块构造学说。

断层学说认为,构造地震是由于组成地壳的岩层(图1.1(a))在巨大的能量作用下不断地变动,产生变形的地应力。地应力在某一地区逐渐增加,岩石变形也不断增加(图1.1(b))。当地应力超过岩石的极限强度时,在岩石的薄弱处突然发生断裂和错动(图1.1(c)),部分应变能突然释放,引起振动,其中一部分能量以波的形式传到地面,就产生了地震。构造地震发生断裂错动的地方所形成的断层称为发震断层。

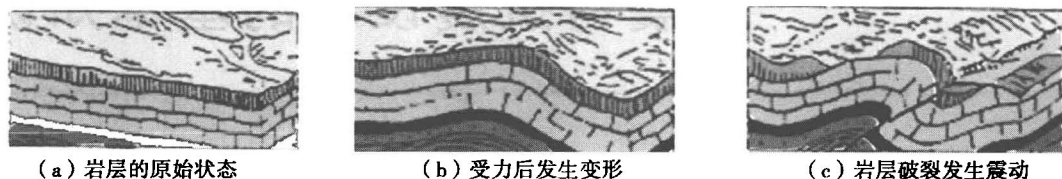


图 1.1 岩层的变形与破裂

而板块构造学说认为,地球表面的最上层是由强度较高的岩石组成,称为岩石层,其厚度为70~100 km;岩石层的下面为强度较低并兼有塑性性质的岩流层。一般认为,地球的岩石层不是一块整体,而是被一些活动的构造带割裂的若干板块。全球岩石层可分为欧亚板块、太平洋板块、印度洋板块、美洲板块、非洲板块和南极板块六大板块。它们又可分成若干小板块(图1.2)。各板块之间因岩石层下面的地幔岩流层的对流运动而产生相互运动,从而使板

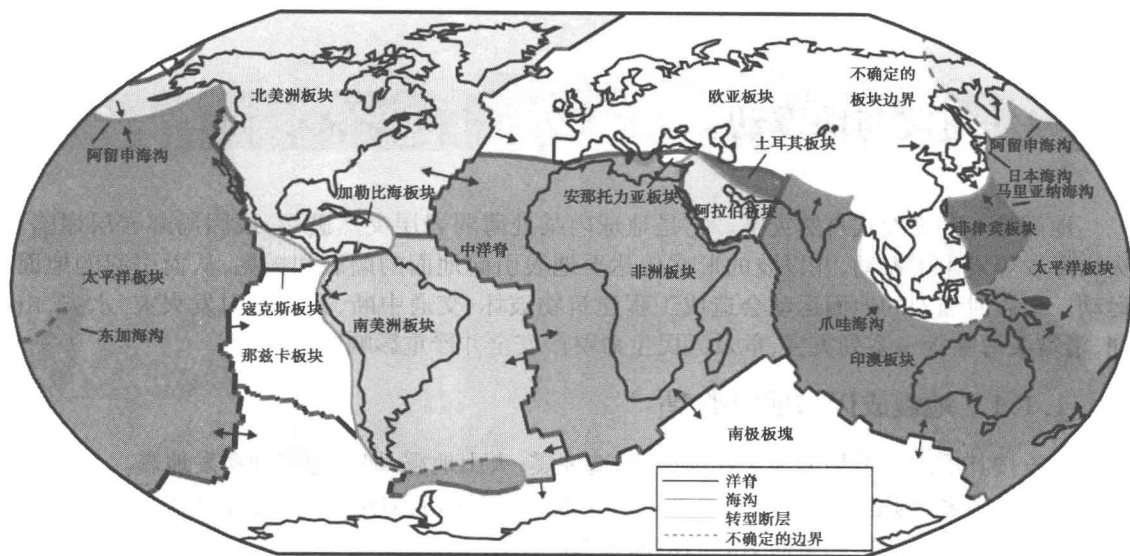


图 1.2 板块分布图

块之间相互挤压和碰撞,致使其边缘附近岩石层脆性破裂而引发地震。地球上的主要地震带就处于这些大板块的交接处。

地下岩层断裂时,往往不是沿着一个平面发生,而是形成一个由一系列裂缝组成的破碎地带,并且这个破碎地带的所有岩层不可能同时达到新的平衡状态。因此,每次大地震的发生一般都不是孤立的。大地震前后,在发震地区,总有很多次中小地震发生。在一定时间内相继发生在相邻地区的一系列大小地震称为地震序列。根据地震序列的不同,可以对构造地震进行以下的分类:

①孤立型(即单发型)地震:没有前震,余震小而少,且与主震震级相差悬殊,地震能量基本上是通过主震一次性释放的。

②主震-余震型地震:一次地震序列中,最大的地震特别突出,所释放的能量占全序列能量的90%以上,这个最大的地震叫主震。其他较小的地震中,发生在主震之前的叫前震,发生在主震之后的叫余震。

③双震型地震:一次地震序列中,90%以上的能量主要由发生时间接近、地点接近、大小接近的两次地震释放。

④震群型(即多发型)地震:一次地震序列的主要能量是通过多个震级相近的地震释放的(没有明显的主震),其释放的能量占全序列的80%以上。

▶ 1.1.2 震源、震中与震中距

地壳深处发生岩层断裂、错动而释放能量的地方称为震源,震源至地面的距离称为震源深度,震源正上方的地面位置称为震中,地面上某点至震中的距离称为震中距,临近震中的地区称为震中区,如图1.3所示。

根据震源深度的不同,地震又可以分为:

①浅源地震:震源深度在70 km以内。1年中全世界所有地震释放的能量约85%来自浅源地震。

②中源地震:震源深度在70~300 km范围内。1年中全世界所有地震释放的能量约12%来自中源地震。

③深源地震:震源深度超过300 km。1年中全世界所有地震释放的能量约3%来自深源地震。

根据震中距的大小,地震又可分为地方震、近震和远震。震中距在100 km以内的地震称为地方震;震中距在100~1 000 km的地震称为近震;震中距大于1 000 km的地震称为远震。

▶ 1.1.3 地震波

地震时,震源处岩层断裂、错动所释放的能量,主要以波的形式向外传播,这种波就是地震波。地震波是一种弹性波,它包含在地球内部传播的体波和只限于在地球表面传播的面波。

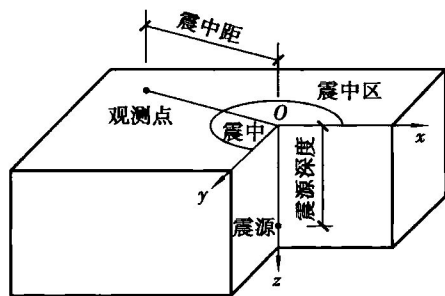


图 1.3 震源、震中、震中距与震中区

1) 体波

体波包含纵波和横波两种形式,如图 1.4 所示。

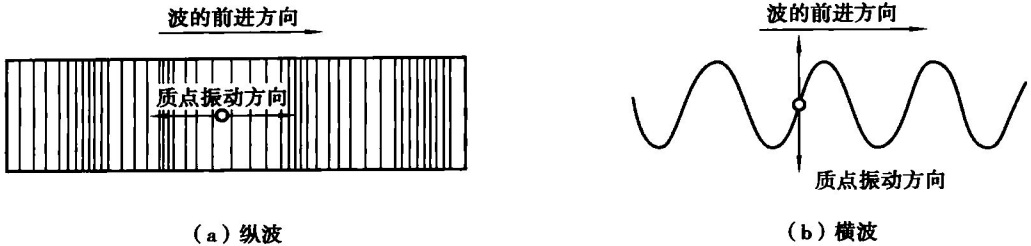


图 1.4 体波指点震动形式

纵波是由震源向四周传播的压缩波,其介质质点的振动方向与波的传播方向一致,从而使介质不断地压缩和疏松,故纵波又称为压缩波或疏密波。这种波的周期短、振幅小、波速快(在地壳内部的速度一般为 200 ~ 1 400 m/s),引起地面竖直方向的振动。横波是由震源向四周传播的剪切波,其介质质点的振动方向与波的传播方向垂直。这种波的周期长、振幅大、波速慢,引起地面水平方向的振动。需要指出的是,纵波在固体和液体介质中都能传播,而横波只能在固体介质中传播。

根据弹性理论,纵波的传播速度 v_p 与横波的传播速度 v_s 可分别按下式计算:

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1.1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2)$$

式中 E ——介质的弹性模量;
 G ——介质的剪切模量;
 μ ——介质的泊松比;
 ρ ——介质的密度。

在一般情况下,当 $\mu = 0.22$ 时,由式(1.1)和式(1.2)可得:

$$v_p = 1.67v_s \quad (1.3)$$

由此可见,纵波的传播速度比横波的传播速度要快,在仪器观测到的地震记录图上,纵波一般都先于横波到达。因此,通常也把纵波称为 P 波(即初波),把横波称为 S 波(即次波)。地基土中纵波和横波的波速参考值见表 1.1。

表 1.1 地基土纵波和横波的传播速度

地基土名称	纵波波速 v_p (m/s)	横波波速 v_s (m/s)
湿黏土	1 500	150
天然湿度黄土	800	260
密实砾石	480	250
细 砂	300	110
中 砂	550	160
粗 砂	750	180

2) 面波

面波是在地表面传播的波,又称为 L 波。它是由体波经地层界面多次反射、折射形成的次生波。面波的振幅大、周期长、波速较慢(约为横波波速的 0.9 倍)。面波比体波衰减慢,因此能传到很远的地方。面波的大小随震源深度加深而逐渐减小。

面波主要有瑞雷波和乐夫波两种形式。瑞雷波传播时,介质质点在波的行进方向与地表法向组成的平面内做椭圆运动,如图 1.5(a) 所示。乐夫波传播时,介质质点在与波的行进方向垂直的水平方向做剪切型运动,在地面上表现为蛇形运动,如图 1.5(b) 所示。乐夫波的一个重要特点是,介质质点在水平方向的振动与波行进方向耦合后会产生水平扭转分量。

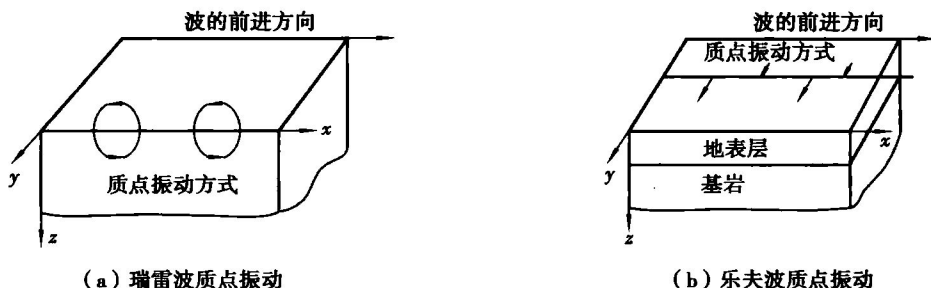


图 1.5 面波质点振动方式

由于上述 3 种波的传播速度不同,因此在地震仪记录的地震曲线图上,首先到达的是纵波,其次是横波,最后到达的是面波(图 1.6)。通过分析地震曲线图上 P 波和 S 波的到来时间差,可以确定震源的距离(位置)。

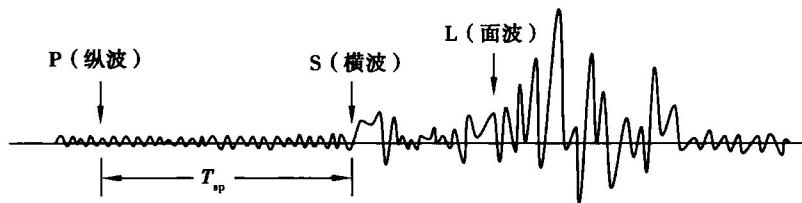


图 1.6 地震曲线图

根据地震波的特性,地震时纵波使建筑物产生上下颠簸,横波使建筑物产生水平方向摇晃,而面波则兼而有之。当横波和面波都到达时,振动最为激烈,产生的破坏作用也越大。面波的能量要比体波的大,所以造成建筑物和地表的破坏是以面波为主。在离震中较远的地方,由于地震波在传播过程中逐渐衰减,地面振动减弱,破坏作用也逐渐减轻。

► 1.1.4 地震动

由地震波传播所引发的地面振动,通常称为地震动。其中,在震中区附近的地震动称为近场地震动。人们一般通过记录地面运动的加速度来了解地震动的特征。对加速度记录进行积分,可以得到地面运动的速度和位移。一般来说,一点处的地震动在空间具有 6 个方向的分量(3 个平动分量和 3 个转动分量),目前一般只能获得平动分量的记录,对转动分量的

记录很难获得。

从前对于地震波的介绍可知,地面上任一点的振动过程实际上包括各种类型地震波的综合作用,并且地震动是一种随机过程。因此,地震动记录的信号是极不规则的。然而,通过详细分析,可以采用几个特定的要素来反映不规则的地震波。例如,通过最大振幅,可以定量反映地震动的强度特性;通过对地震记录的频谱分析,可以揭示地震动的周期分布特征;通过对强震持续时间的定义和测量,可以考察地震动循环作用的强弱。通常,地震动的峰值(最大振幅)、频谱和持续时间,称为地震动的三要素。地震对工程结构的破坏程度,与地震动的三要素密切相关。

1.2 地震震级与地震烈度

▶ 1.2.1 地震震级

地震震级是度量地震本身强度大小的指标,它是地震的基本参数之一,用符号 M 表示。目前,国际上比较通用的是里氏震级,其定义是 1935 年由美国地震学家里克特(C. F. Richter)提出的,即震级的大小是在距震中 100 km 处标准地震仪(指摆的自振周期为 0.8 s,阻尼系数为 0.8,放大系数为 2 800 倍的地震仪)记录下来的地震 S 波最大水平振幅 A (以 μm 计)的常用对数值:

$$M = \lg A \quad (1.4)$$

式中 M ——地震震级,通常称为里氏震级;

A ——由记录到的地震曲线图上得到的最大振幅。

实际上,地震时距震中恰好 100 km 处不一定设置了地震仪,且观测点也不一定采用上述的标准地震仪。因此,为了得到距震中 100 km 处的振幅当量,此时需对记录值进行适当的修正。

地震震级反映一次地震释放能量的多少,与其带给建筑的破坏程度无关。一次地震只有一个震级。震级直接与震源所释放能量的多少有关,因此常用如下经验公式来表示震级 M 与地震能量 E (单位为 erg, $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$)之间的关系:

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1.5)$$

由式(1.5)可以看出,随着震级的增大,地震释放的能量迅速增加。震级每增加 0.2,释放的能量就会翻倍。也就是说,震级增加一级,地震释放的能量约增加 32 倍。按照这个关系,一次 6 级地震释放的能量,相当于一个 2 万吨级的原子弹;1960 年 5 月 22 日在智利发生 8.9 级地震,其能量相当于 10 万多颗广岛原子弹爆炸所产生的能量;2008 年 5 月 12 日发生在中国汶川的 8.0 级大地震其释放的能量相当于 5 600 颗广岛原子弹爆炸所产生的能量。

按照震级的大小,地震可以分为:微震($M < 2$),人们无感觉,只有仪器才能记录下来;有感地震(M 为 2~4),人有感觉,但无破坏发生;破坏性地震($M > 5$);强烈地震或大震($M > 7$);特大地震($M > 8$)。



► 1.2.2 地震烈度

地震烈度是指地震引起的地面震动及其影响的强弱程度,它表示地面和建筑物受破坏的程度。一次同样大小的地震,若震源深度、离震中的距离和土质条件等因素不同,则地面和建筑物的破坏也不一样。若仅用地震震级来表示地震动的强弱,还不足以区别地面和建筑物破坏轻重程度。

对于一次地震,表示地震大小的震级只有一个,然而由于同一次地震对不同地点的影响不一样,因此随着距离震中的远近会出现多种不同的烈度。一般来说,距离震中越近,地震影响越大,烈度就越高;反之,距离震中越远,烈度就越低。对应于一次地震,在受到影响的区域内,可以按照地震的标准对一些有代表性的地点评定出烈度。具有相同烈度的各个地点的外包线,称为等烈度线,如图 1.7 所示。

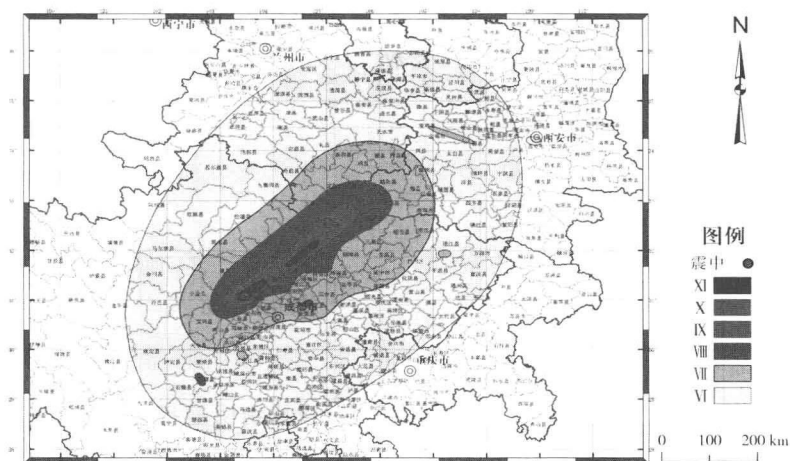


图 1.7 汶川地震等烈度线

震中区的烈度称为震中烈度。它一般可以被看作是地震大小和震源深度两者的函数,但对人民生命财产影响最大且发生最多的地震,其震源深度大多都在 10 ~ 30 km 范围内,因此研究震中烈度 I_0 与震级 M 之间关系时可近似认为震源深度不变。《中国地震目录》(1983 年版)给出了根据宏观资料估算震级的经验公式:

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \quad (1.6)$$

表 1.2 给出了震源深度为 10 ~ 30 km 时,震级 M 与震中烈度 I_0 大致对应的关系。

表 1.2 震级 M 与震中烈度 I_0 的关系

震级 M	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
震中烈度 I_0	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

1) 地震烈度表

既然地震烈度是表示地震影响程度的一个尺度,就需要建立一个评定烈度的标准,这个标准称为地震烈度表。其内容包括宏观现象描述和定量指标,但以描述震害宏观现象为主,



即根据人的感觉、器物的反应、建筑物的破坏程度和地貌变化特征等方面的宏观现象进行判定和区分。然而,由于对烈度影响轻重的分段不同,以及在宏观现象和定量指标确定方面的差异,加之各国建筑情况和地表条件的不同,各国所指定的地震烈度表也就不同。现在,除了日本采用分成 8 等(0~7 度)的烈度表、少数国家(如欧洲一些国家)采用 10 度划分的地震烈度表外,绝大多数国家包括我国都采用分成 12 度的地震烈度表。

我国现行的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)采用 12 等级的地震烈度划分,见表 1.3。表中,房屋震害程度是指地震时房屋遭受破坏的轻重程度;震害指数是指房屋震害程度的定量指标,以 0.00~1.00 的数字表示由轻到重的震害程度;平均震害指数是同类房屋震害指数的加权平均值,即各级震害的房屋所占比率与其相应的震害指数的乘积之和。

表 1.3 中国地震烈度表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 (m/s^2)	峰值速度 (m/s)
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	—
IV	室内多数人、室外少数人有感觉,少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动,器皿作响	—	—
V	室内绝大多数、室外多数人有感觉,多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
VI	多数人站立不稳,少数人惊醒逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			